



Ю. Д. Силуков

Экологические проблемы строительства и эксплуатации автомобильных дорог

Екатеринбург
2012

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет»

Кафедра транспорта и дорожного строительства

Ю. Д. Силуков

Экологические проблемы строительства и эксплуатации автомобильных дорог

Методические указания
для курсового и дипломного проектирования
по расчету токсичных выбросов
дорожно-строительными машинами на площадках (стоянках)
и во время работы на строительных объектах
для студентов очной и заочной форм обучения
специальности 270205 «Автомобильные дороги и аэродромы»
и подготовки бакалавров и магистров по направлению
270100 «Строительство»

Екатеринбург
2012

Печатается по решению методической комиссии ЛИФ.
Протокол № 1 от 21.09.2011 г.

Рецензент – канд. техн. наук, доцент А. А. Чижов

Редактор К. В. Корнева
Оператор компьютерной верстки Т. В. Упорова

Подписано в печать 31.05.12		Поз. 21
Плоская печать	Формат 60×84 1/16	Тираж 50 экз.
Заказ №	Печ. л. 1,16	Цена 5 руб. 96 коп.

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

Оглавление

Введение	4
1. Расчет выбросов токсичных веществ на площадках (стоянках) дорожно-строительных машин	5
2. Расчет токсичных выбросов (NO_2) при работе бульдозера на земляных работах.....	8
3. Общий выброс токсичных веществ и расход горючего бульдозером на площадке (стоянке) и земляных работах.....	11
4. Выбросы токсичных веществ одноковшовым экскаватором во время землеройных работ.....	13
4.1. Рабочий цикл одноковшового экскаватора	13
4.2. Длина пути во время рабочих операций экскаватора	14
4.3. Расчет токсичных выбросов и расхода горючего во время земляных работ экскаватора	14
4.4. Удельные выбросы NO_2 в размерности т/т и сравнении с допустимыми значениями.....	16
Список литературы	17

Введение

Загрязнение окружающей среды токсичными выбросами дорожно-строительных машин отрицательно влияет на растительность и живые организмы.

Задача заключается в том, чтобы показать, как правильно рассчитать количество вредных выбросов и установить безопасную зону, в которой токсичные выбросы не будут превышать предельно допустимую концентрацию.

Большинство дорожно-строительных машин оборудуется дизельными двигателями.

В методических указаниях приведены расчеты токсичных выбросов от дизельных двигателей во время работы дорожно-строительных машин.

1. Расчет выбросов токсичных веществ на площадках (стоянках) дорожно-строительных машин

Расчет токсичных выбросов $M_{взд}$ от дизельного двигателя во время нахождения бульдозера на площадке, а также при въезде и выезде, выполняется по следующей формуле (на примере бульдозера):

для выезда бульдозера с площадки

$$M_{взд} = (m_{п} t_{п} + m_{пр} t_{пр} + m_{дв} t_{дв} + m_{хх} t_{хх}) 10^{-6} n, \text{ I год}, \quad (1)$$

где $m_{п}$, $m_{пр}$ – удельные выбросы токсичного вещества при пуске и прогреве двигателя, г/мин (табл. 1, 2);

$t_{п}$, $t_{пр}$ – время работы пускового двигателя и прогрева дизельного двигателя бульдозера, мин (табл. 3, 4);

$m_{дв}$ – удельные выбросы токсичного вещества при движении бульдозера по территории площадки, г/мин;

$t_{дв}$ – время движения бульдозера на площадке, мин;

$m_{хх}$ – удельный выброс токсичного вещества при работе двигателя бульдозера на холостом ходу;

$t_{хх}$ – время работы дизельного двигателя бульдозера на холостых оборотах, мин;

n – количество рабочих дней бульдозера в году, дней/год.

При въезде (возвращении бульдозера после работы на площадку), при расчете токсичных выбросов, из формулы (1) исключается выбросы при пуске и прогреве двигателя.

Таблица 1

Удельные выбросы токсичных веществ
при работе бензинового пускового двигателя

Номинальная мощность дизельного двигателя, кВт	Удельные выбросы, г/мин			
	CO	CH	NO ₂	SO ₂
21-35	18,	4,7	0,7	0,023
36-60	23,3	5,8	1,2	0,029
61-100	25,0	6,1	1,7	0,042
101-160	35,0	6,9	3,4	0,058
161-200	57,0	7,0	4,5	0,095
>200	90,0	7,5	7,0	0,15

Таблица 2

Удельные токсичные выбросы
при прогреве дизельного двигателя

Номинальная мощность дизельного двигателя, кВт	Удельные выбросы, г/мин		
	СН	NO ₂	SO ₂
до 20	0,16	0,14	0,022
21-35	0,29	0,26	0,042
36-60	0,47	0,44	0,072
61-100	0,78	0,72	0,120
101-160	1,27	1,17	0,200
161-260	2,05	1,91	0,310
>260	3,22	3,0	0,320

Таблица 3

Продолжительность пуска дизельного двигателя
(работы пускового двигателя)

Период года	Теплый, от +5 °С	Переходный, до -5 °С	Холодный, ниже -5 °С
Продолжительность пуска, мин	1	2	4

Таблица 4

Время прогрева дизельного двигателя

Температура воздуха, °С	Выше 5	До -5	До -10	До -15	До -20	До -25	Ниже -25
Время прогрева, мин	2	6	12	20	28	36	45

Длину пути движения бульдозера по площадке (вдоль и поперек) при въезде и выезде можно принять при размере площадки 100 × 100 м, равной 100 м.

В целях безопасности скорость движения бульдозера по территории площадки можно ограничить до 2 км/ч.

Время движения бульдозера по площадке при выезде

$$t'_{\text{дв}} = \frac{l}{V}, \quad (2)$$

где l – длина пути передвижения бульдозера по площадке, км;

V – скорость передвижения, км/ч.

$$t_{\text{дв}} = \frac{0,100}{2} = 0,05 \text{ (ч) или } 3 \text{ (мин)}.$$

При въезде на площадку время движения тоже равно 3 мин.

Примем, что на холостых оборотах время $t_{\text{хх}} = 1$ мин.

Тогда за 100 дней токсичные выбросы оксида азота NO_2 на площадке [формула (1)] составят (въезд и выезд):

$$M_{\text{взд}} = (3,4 \cdot 2 + 1,17 \cdot 6 + 4,1 \cdot 3 \cdot 2 + 0,78 \cdot 1 \cdot 2) \cdot 10^{-6} \cdot 100 = 0,0035 \text{ (т/год)}.$$

Число рабочих дней принято $n = 100$ дней/год.

Если принять расстояние от площадки до места работы бульдозера $l_1 = 1000$ м, а скорость передвижения $V_1 = 2$ км/ч, то время движения $t_{\text{дв}} = 33$ мин и токсичные выбросы в день составят: $M_{\text{дв}} = m_{\text{дв}} t_{\text{дв}} \cdot 2$,

$$M_{\text{дв}} = 4,1 \cdot 33 \cdot 2 = 270 \text{ (г) или } 0,00027 \text{ (т/год)}.$$

За 100 рабочих дней: $0,0027 \cdot 100 = 0,027$ т/год.

Тогда сумма токсичных выбросов NO_2 на площадке и движении от площадки до места работы бульдозера составит: $0,0035 + 0,027 = 0,0307$ т/год.

Время выброса токсичных веществ на всех операциях в одну смену: $2 + 6 + 6 + 2 + 33 \cdot 2 = 82$ мин, а за 100 рабочих дней $82 \cdot 100 = 8200$ мин, или 137 ч.

При экономном расходе горючего бульдозером 7,82 кг/ч, общий расход топлива на стоянке составит:

$$7,82 \cdot 137 = 1071 \text{ или } 1,07 \text{ (т/год)}.$$

2. Расчет токсичных выбросов (NO_2) при работе бульдозера на земляных работах

Во время работы бульдозера на земляных работах выполняются следующие операции:

- формирование призмы волочения, при этом нож отвала заглубляется в грунт, и бульдозер движется вперед до полного набора грунта;
- набранный грунт в виде призмы волочения перемещается до объекта строительства, где высыпается, при этом отвал поднимается;
- бульдозер без нагрузки возвращается назад к месту формирования очередной призмы волочения.

При переключении передач, поднятии и опускании отвала двигатель бульдозера работает на холостом ходу (бульдозер стоит на месте).

Расчет токсичных выбросов бульдозером при работе на земляных работах выполняется по формуле, т/год:

$$M_3 = [K_n m_{\text{дв}} t_{\text{двн}} + m_{\text{дв}} t_{\text{дв}} + m_{\text{хх}} t_{\text{хх}}] 10^{-6} n, \quad (3)$$

где K_n – коэффициент выброса токсичных веществ при работе бульдозера с нагрузкой, $K=1,3$;

$m_{\text{дв}}$ – выбросы токсичного вещества при движении бульдозера, г/мин;

$t_{\text{двн}}$ – время движения бульдозера с нагрузкой (формирование призмы волочения и ее перемещение к месту строительства объекта), мин;

$t_{\text{дв}}$ – время движения бульдозера при возвращении к месту формирования призмы волочения;

$m_{\text{хх}}$ – выбросы токсичных веществ при работе двигателя бульдозера на холостом ходу, г/мин;

$t_{\text{хх}}$ – время работы двигателя бульдозера на холостом ходу, мин;

n – количество рабочих дней бульдозера в году.

В виде примера выполним расчет токсичных выбросов для бульдозера Б-170, смонтированного на тракторе Т-179 М1.01. Масса бульдозера 15000 кг. Ширина отвала 3,31 м. Глубина заравнивания до 0,3 м в зависимости от прочности грунта. Мощность дизельного двигателя 120 кВт.

При работе двигателя дорожно-строительных машин больше всех токсичных веществ выбрасывается в окружающую среду в виде окиси азота NO_x , который взаимодействует с кислородом воздуха, превращаясь в оксид азота NO_2 .

Оксид азота NO_2 относится ко второму классу токсичности (в 41 раз опаснее окиси углерода CO). Попадая на слизистую оболочку дыхательных путей, NO_2 преобразуется в азотную и азотистую кислоты, вызывая легочные заболевания, в том числе бронхиальную астму. Окиси азота, действуя на нервную систему человека, вызывают у него непредсказуемое поведение. Не случайно в старину окислы азота называли «веселящим газом».

Выбросы оксида азота NO_2 при движении бульдозера приведены в таблице 5.

Таблица 5

Выбросы оксида азота NO_2 при движении
дорожно-строительных машин

Мощность дизельного двигателя, кВт	Выброс NO_2 , г/мин
До 20	0,47
21-35	0,87
36-60	1,49
61-100	2,47
101-160	4,1
161-260	6,47
>260	10,16

Выбросы окиси азота NO_2 при работе двигателя дорожно-строительной машины на холостом ходу приведены в таблице 6.

Таблица 6

Выбросы оксида азота NO_2 при работе дизельного двигателя
на холостом ходу

Номинальная мощность дизельного двигателя, кВт	Выброс NO_2 , г/мин
До 20	0,09
21-35	0,17
36-60	0,29
61-100	0,48
101-160	0,78
161-260	1,27
>260	1,99

Примем длину перемещения грунта бульдозером 50 м.

Скорость движения бульдозера с нагрузкой (перемещение грунта) ограничим 1 км/ч, в этом случае время прохода 50 м составит:

$$t'_{\text{дв}} = \frac{l}{V},$$

где $l=50$ м, а скорость $V=1$ км/ч, тогда

$$t'_{\text{дв}} = \frac{0,050}{1} = 0,05 \text{ (ч) или } 3 \text{ (мин)}.$$

Скорость движения бульдозера без нагрузки задним ходом 1,5 км/ч, тогда

$$t'_{\text{дв}} = \frac{0,050}{1,5} = 0,033 \text{ (ч) или } 2 \text{ (мин)}.$$

Время работы двигателя бульдозера на холостом ходу за один рейс примем равным 1,25 мин.

Всего на 1 рейс тратится 6,25 мин.

За 1 час (60 мин) бульдозер сделает рейсов:

$$n_p = \frac{60}{6,25} \cong 10.$$

В смене 480 мин, с учетом коэффициента использования времени $K_v = 0,8$ рабочее время составляет: $480 \cdot 0,8 = 380$ мин.

Количество рейсов за смену:

$$n_{\text{см}} = \frac{380 n_p}{60}$$

или

$$n_{\text{см}} = \frac{380 \cdot 10}{60} = 63.$$

Время, затраченное бульдозером на работу в нагрузочном режиме, мин:

$$t_{\text{двн}} = n_{\text{см}} t'_{\text{дв}},$$

$$t_{\text{дв}} = 63 \cdot 3 = 189.$$

Время на движение бульдозера без нагрузки задним ходом, мин:

$$t_{\text{дв}} = 63 \cdot 2 = 126.$$

Время работы бульдозера на холостом ходу, мин:

$$t_{\text{хх}} = 63 \cdot 1,25 = 79.$$

Подставим полученные значения в формулу (3), тогда токсичные выбросы NO_2 в т/год составят, т/год:

$$M_3 = [(1,3 \cdot 4,1 \cdot 189 + 3,8 \cdot 126 + 0,78 \cdot 79) \cdot 10^{-6}] \cdot 100 = 0,155.$$

Расход горючего Q , т/год:

$$Q = \frac{Q_{\text{ч}} \cdot n \cdot t_{\text{ч}}}{1000}, \quad (4)$$

где $Q_{\text{ч}}$ – часовой расход горючего 7,85 кг/ч (табл. 7);

n – количество рабочих дней работы бульдозера, $n = 100$ дней;

$t_{\text{ч}}$ – количество часов работы в смену ($8 \cdot 0,8 = 6,4$ ч).

$$Q = \frac{7,85 \cdot 100 \cdot 6,4}{1000} = 5,02 \text{ (т/год)}$$

Таблица 7

Расход горючего дорожно-строительными машинами

Дорожно-строительная машина	Мощность двигателя, кВт	Расход горючего, кг/ч
Автогрейдер	99	13,8
Бульдозер	60	6,04
Бульдозер	80-120	7,85
Бульдозер	>120	11,4

3. Общий выброс токсичных веществ и расход горючего бульдозером на площадке (стоянке) и земляных работах

Всего за 1 год при работе бульдозера, включая его нахождение на площадке и движение к месту работы, общие токсичные выбросы ($M_{\text{общ}}$) составят:

$$M_{\text{общ}} = M_{\text{пл}} + M_{\text{з.р}},$$

где $M_{\text{пл}}$ – токсичные выбросы окиси азота NO_2 на площадке и при движении к месту работы, т/год;

$M_{\text{з.р}}$ – токсичные выбросы NO_2 при выполнении бульдозером земляных работ, т/год.

$$M_{\text{общ}} = 0,0305 + 0,155 = 0,185 \text{ (т/год)}$$

Общий расход горючего $Q_{\text{общ}}$:

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{пл}} + Q_{\text{з.р}},$$

где $Q_{\text{пл}}$ – расход горючего на площадке и при движении к месту работы, т/год;

$Q_{\text{з.р}}$ – расход горючего бульдозером на земляных работ, т/год.

$$Q_{\text{общ}} = 1,07 + 5,02 = 6,09 \text{ (т/год)}$$

Удельные выбросы M оксида азота NO_2 в размерности т/т составят:

$$M = \frac{M_{\text{общ}}}{Q_{\text{общ}}},$$

$$M = \frac{0,18}{6,09} = 0,030.$$

Допустимые предельные выбросы от дорожно-строительных машин вычисляются по формуле МАДИ, т/год:

$$P_r = M R, \quad (5)$$

где P_r – допустимые годовые токсичные выбросы, т/год;

R – расход горючего, т/год.

Допустимые предельные выбросы оксида азота NO_2 равны 0,028 т/т, т/год (табл. 8):

$$P_r = 0,028 \cdot 6,09 = 0,16.$$

Таблица 8

Удельные допустимые выбросы токсичных веществ
для дизельных двигателей, т/т

Токсичные выбросы	Удельные допустимые выбросы, т/т
CO	0,047
CmHn	0,019
NO ₂	0,028
Сажа	0,009
SO ₂	0,010

В нашем примере общие выбросы NO_2 составляют 0,185 т/год, что больше предельно допустимых 0,18 т/год на 11 %.

При работе на связных (прочных) грунтах и по мере износа бульдозера токсичные выбросы вредных веществ будут возрастать и еще больше превышать предельно допустимые.

В целях безопасности окружающей среды необходимо содержать дорожные машины на достаточно высоком техническом уровне, систематически проводить осмотры, своевременные ремонты, экономить горючее и внедрять более рациональную организацию работы бульдозера.

4. Выбросы токсичных веществ одноковшовым экскаватором во время землеройных работ

Одноковшовый экскаватор – это самоходная машина с рабочим органом в виде ковша. Предназначен для разработки грунта и его перемещения в транспортные средства или отвалы.

По объему ковша экскаваторы делятся:

с малым объемом (0,15; 0,25; 0,4; 0,65; 0,8; 1,0 м³);

со средним объемом (1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0 м³);

с большим объемом (6; 8; 14; 15; 20; 35; 50; 80; 100 м³).

По типу привода рабочего органа: с механическим приводом (0,15–100 м³); с гидравлическим приводом (0,15–1,0 м³).

4.1. Рабочий цикл одноковшового экскаватора

Рабочий цикл одноковшового экскаватора включает в себя следующие операции: копание (заполнение грунтом ковша), подъем ковша с заполненным грунтом поворот груженого ковша (платформы), разгрузка ковша, поворот платформы с порожним ковшом назад и возвращение ковша в забой для начала нового копания грунта.

Продолжительность рабочего цикла экскаватора $t_{ц}$, с:

$$t_{ц} = t_{к} + t_{п} + t'_{пов} + t_{раз} + t''_{пов} + t_{з}, \quad (6)$$

где $t_{к}$ – время копания грунта (заполнение объема ковша грунтом), с;

$t_{п}$ – время подъема груженого ковша, с;

$t'_{пов}$ – время поворота груженого ковша, с;

$t_{раз}$ – время разгрузки ковша (открытие и закрытие крышки днища ковша), с;

$t''_{пов}$ – время поворота порожнего ковша, с;

$t_{з}$ – время опускания ковша в забой для начала копания грунта, с.

t_{xx} – работа двигателя на холостом ходу во время отъезда и установки самосвала под погрузку, с.

Рабочий цикл одноковшового экскаватора с объемом ковша обычно длится в пределах 36 с.

Примем следующую продолжительность рабочих операций, с:
 $t_k = 7$; $t_n = 4$; $t_{пов} = 5$; $t_{раз} = 4$; $t''_{пов} = 5$; $t_{xx} = 180$; $t_3 = 4$, тогда $t_3 = 29 + 180 = 209$, или 3,48 мин.

В качестве примера рассматриваем одноковшовый экскаватор с объемом ковша $1,0 \text{ м}^3$.

4.2. Длина пути во время рабочих операций экскаватора

Перемещение ковша во время наполнения его грунтом (копание), вычисляется по следующей формуле:

$$l_k = \frac{qK}{hb}, \quad (7)$$

где l_k – перемещение ковша во время копания грунта, м;

q – объем ковша, м^3 ;

K – коэффициент наполнения ковша;

h – глубина погружения ковша в грунт, м;

b – ширина ковша, м.

Примем: $h = 0,25 \text{ м}$; $b = 1 \text{ м}$; $q = 1 \text{ м}^3$; $K = 0,8$, тогда, м:

$$l_k = \frac{1 \cdot 0,8}{0,25 \cdot 1} = 3.$$

Принимаем высоту подъема ковша 5 м. На 3 м ковш уже поднят или его наполнили грунтом, и подъем груженого ковша $h_n = 2 \text{ м}$. Путь груженого ковша к месту разгрузки $l'_{пов} = 30 \text{ м}$. Путь возвращения порожнего ковша после разгрузки, $l''_{пов} = 30 \text{ м}$. Длина опускания ковша в забой $l_3 = 5 \text{ м}$.

4.3. Расчет токсичных выбросов и расхода горючего во время земляных работ экскаватора

Расчет токсичных выбросов экскаватором во время земляных работ выполняется по следующей формуле, т/год:

$$M_{экс} = (k_n m_k t_n + m_k t_{пор} + m_{xx} t_{xx}) n_{см} k_p n_a N z \cdot 10^{-6}, \quad (8)$$

где $M_{экс}$ – токсичные выбросы во время работы экскаватора, т/год;

k_n – коэффициент учета работы экскаватора с нагрузкой (в ковше находится грунт), $k_n = 1,3$;

m_k – выбросы токсичных веществ при перемещении ковша, г/мин;

t_n – время перемещения ковша с грунтом, включая разгрузку, мин;

$t_{пор}$ – время перемещения порожнего ковша (возвращение в забой), мин;

m_{xx} – токсичные выбросы на холостых оборотах двигателя, г/мин;

t_{xx} – время работы двигателя на холостых оборотах, мин;

$n_{см}$ – количество рейсов самосвала в смену;

k_p – количество рабочих циклов экскаватора, выполняемых для загрузки одного самосвала (на один рейс);

n_a – количество автомобилей, загружаемых экскаватором в смену;

N – количество дней работы экскаватора в году, дней/год;

z – число смен в сутки.

Примем мощность экскаватора 75 кВт.

Для этой мощности выбросы токсичного вещества в виде оксида азота NO_2 при перемещении ковша экскаватора составят $m_k = 2,47$ г/мин (табл. 5).

Время при перемещении ковша с грунтом t_n :

$$t_n = 7 + 4 + 5 + 4 = 20 \text{ с, или } 0,33 \text{ мин.}$$

Время при возвращении порожнего ковша в забой, $t_{пор}$:

$$t_{пор} = t''_{пов} + t_3,$$

$$\text{тогда } t_{пор} = 5 + 4 = 9 \text{ с, или } 0,15 \text{ мин.}$$

Подсчитаем токсичные вещества (NO_2), выбрасываемые экскаватором в окружающее пространство за 100 дней работы в году [формула (7)], т/год:

$$M_{экс} = (1,2 \cdot 2,47 \cdot 0,33 + 2,47 \cdot 0,15 + 0,48 \cdot 3) \cdot 12 \cdot 4 \cdot 15 \cdot 100 \cdot 1 \cdot 10^{-6} = 0,2.$$

При расчете $M_{экс}$ принято $n_{см} = 12$ рейсов; $k_p = 4$ цикла; $n_a = 15$ автомобилей; $N = 100$ дней в году $z = 1$. При расчете количества рабочих циклов k_p совместим поворот платформы с поднятием груженого ковша и поворот платформы с опусканием порожнего ковша, т.е. количество операций сократим на две, а число рабочих циклов для загрузки одного самосвала до четырех ($k_p = 4$).

Расход горючего Q , т/год:

$$Q = \frac{Q_{\text{ч}} n t_{\text{ч}}}{1000}, \quad (9)$$

где $Q_{\text{ч}}$ – часовой расход горючего для экскаватора, $Q_{\text{ч}} = 8,5$ кг/ч;

n – количество рабочих дней в году, $n = 100$ дней/год;

t_q – количество часов работы в смену при коэффициенте использования рабочего времени 0,85, тогда, т/год:

$$Q = \frac{8,5 \cdot 100 \cdot 8 \cdot 0,85}{1000} = 5,78.$$

4.4. Удельные выбросы NO_2 в размерности т/т и сравнение с допустимыми значениями

Удельные выбросы M в размерности т/т для нашего примера:

$$M = \frac{M_{\text{экс}}}{Q},$$

$$\text{тогда } M = \frac{0,2}{5,78} = 0,034 \text{ т/т}.$$

Допустимые удельные выбросы NO_2 для экскаватора принимаются 0,033 т/т.

В нашем примере удельные токсичные выбросы NO_2 почти равны допустимым и не представляют серьезной опасности для людей, работающих в рабочей зоне экскаватора.

Список литературы

1. Силуков, Ю. Д. Экологическая безопасность на автомобильных дорогах / Ю. Д. Силуков. – Екатеринбург, 2010. – 205 с.
2. Методика проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для баз дорожной техники / Минтранс РФ, 1998. – 59 с.